

519,507

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION  
EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)(19) Organisation Mondiale de la Propriété  
Intellectuelle  
Bureau international

22 DEC 2004

(43) Date de la publication internationale  
31 décembre 2003 (31.12.2003)

PCT

(10) Numéro de publication internationale  
WO 2004/001765 A1(51) Classification internationale des brevets<sup>7</sup> :  
G21C 7/117, 21/18, 7/24(21) Numéro de la demande internationale :  
PCT/FR2003/001710

(22) Date de dépôt international : 6 juin 2003 (06.06.2003)

(25) Langue de dépôt : français

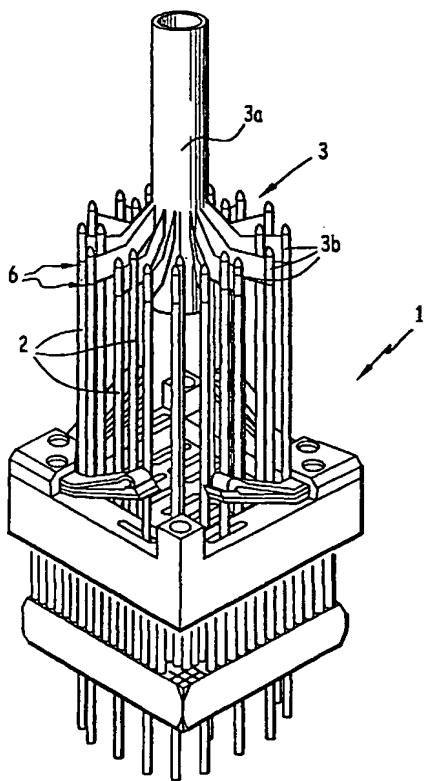
(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :  
02/07884 25 juin 2002 (25.06.2002) FR(71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US) : FRAM-  
ATOME ANP [FR/FR]; Tour Areva, 1 Place de la Coupole,  
F-92400 COURBEVOIE (FR).

(72) Inventeurs; et

(75) Inventeurs/Déposants (pour US seulement) : HERTZ,  
Dominique [FR/FR]; 35, Côte de l'Hormet, F-69110  
SAINTE FOY LES LYON (FR). DESPREZ, Yves  
[FR/FR]; 49, lieutenant colonel Girard, F-LYON 69007  
(FR).(74) Mandataires : BOUGET, Lucien etc.; Cabinet Lavoix,  
2 Place d'Estienne d'Orves, F-75441 PARIS CEDEX 09  
(FR).(81) États désignés (national) : AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ,  
BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ,  
DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM,  
HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK,  
LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX,

{Suite sur la page suivante}

(54) Title: CLUSTER FOR ADJUSTING A NUCLEAR REACTOR CORE REACTIVITY, ABSORBER ROD OF THE CLUSTER  
AND METHOD FOR PROTECTING THE ABSORBER ROD AGAINST WEAR(54) Titre : GRAPPE DE REGLAGE DE LA REACTIVITE DU COEUR D'UN REACTEUR NUCLEAIRE, CRAYON  
ABSORBANT DE LA GRAPPE ET PROCEDE DE PROTECTION CONTRE L'USURE DU CRAYON ABSOR-  
BANT

**(57) Abstract:** The invention concerns an adjusting cluster comprising a support (3) or spider whereto are attached absorber rods (2). The rods consist of a hafnium tube welded in the lower part to a hafnium or zirconium alloy cap and in its upper part to a titanium alloy cap (6). The spider (3) can likewise be made of titanium alloy. The outer surface of the rods and of the lower caps is protected against wear by oxidation. The outer surface of the upper caps (6) can likewise be protected.

**(57) Abrégé :** La grappe de réglage comporte un support (3) ou araignée auquel sont liés des crayons absorbants (2). Les crayons sont constitués d'un tube en hafnium soudé en partie inférieure à un bouchon en hafnium ou en alliage de zirconium et en partie supérieure à un bouchon (6) en alliage de titane. L'araignée (3) peut être elle aussi en alliage de titane. La surface extérieure des crayons et des bouchons inférieurs est protégée de l'usure par oxydation. Celle des bouchons supérieurs (6) peut l'être aussi.

WO 2004/001765 A1



MZ, NI, NO, NZ, OM, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(84) États désignés (*régional*) : brevet ARIPO (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), brevet eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), brevet européen (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), brevet OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

**Publiée :**

- avec rapport de recherche internationale
- avant l'expiration du délai prévu pour la modification des revendications, sera republiée si des modifications sont requises

*En ce qui concerne les codes à deux lettres et autres abréviations, se référer aux "Notes explicatives relatives aux codes et abréviations" figurant au début de chaque numéro ordinaire de la Gazette du PCT.*

**Grappe de réglage de la réactivité du cœur d'un réacteur nucléaire,**  
**crayon absorbant de la grappe et procédé de protection**  
**contre l'usure du crayon absorbant**

L'invention concerne une grappe de réglage de la réactivité du cœur d'un réacteur nucléaire refroidi par de l'eau légère sous pression et un crayon absorbant d'une telle grappe de réglage.

Les réacteurs nucléaires tels que les réacteurs nucléaires à eau sous pression comportent un cœur constitué par des assemblages de combustible juxtaposés dans la cuve du réacteur. Un assemblage de combustible est constitué d'un faisceau de crayons de combustible maintenus dans une structure porteuse, appelée squelette, constituant l'ossature de l'assemblage. Ce squelette comporte en particulier des tubes-guides disposés suivant la direction axiale de l'assemblage de combustible, reliant les embouts supérieur et inférieur et supportant les grilles de maintien des crayons de combustible. Ces tubes-guides ont pour fonction de garantir une bonne rigidité de l'ossature et de permettre l'insertion dans l'assemblage des crayons absorbant les neutrons utilisés pour le réglage de la réactivité du cœur du réacteur nucléaire.

Les crayons absorbants sont reliés entre eux, à leur extrémité supérieure par l'intermédiaire d'un support généralement désigné par le terme "araignée", pour constituer un faisceau appelé grappe de réglage. L'ensemble des crayons absorbants est mobile à l'intérieur des tubes-guides d'assemblage de combustible.

Pour régler la réactivité du cœur du réacteur nucléaire pendant le fonctionnement du réacteur, on déplace les grappes de réglage à l'intérieur de certains assemblages du cœur en position verticale, soit dans le sens de l'insertion, la grappe de réglage étant alors déplacée vers le bas, soit dans le sens de l'extraction, la grappe de réglage étant alors déplacée vers le haut, de manière à introduire une longueur plus ou moins importante des crayons absorbants dans les assemblages du cœur. De manière à régler la réactivité du cœur pendant le fonctionnement du réacteur nucléaire et la répartition de puissance dans le cœur du réacteur, on utilise généralement des grappes de réglage de divers types dans différentes zones du cœur du réacteur nu-

cléaire. On utilise en particulier des grappes très absorbantes ou grappes noires et des grappes moins absorbantes ou grappes grises.

De manière générale, les crayons absorbants sont constitués par un tube qui est fermé à son extrémité supérieure par un premier bouchon appelé bouchon supérieur, et à son extrémité inférieure par un second bouchon appelé bouchon inférieur du crayon. Les crayons absorbants sont fixés à l'araignée de maintien par l'intermédiaire de leurs bouchons supérieurs.

Généralement, pour les grappes noires, l'ensemble des crayons sont des crayons à forte capacité d'absorption des neutrons. Ces crayons absorbants peuvent être constitués par un tube de gainage renfermant des pastilles d'un matériau absorbant tel que le carbure de bore  $B_4C$ , par des tubes en un matériau absorbant les neutrons ne renfermant pas de pastilles absorbantes ou encore par des tubes en matériau absorbant renfermant des pastilles de carbure de bore  $B_4C$ . On a proposé en particulier d'utiliser, comme tubes en matériau absorbant pour les crayons des grappes de réglage, des tubes en hafnium. Les grappes de réglage de la réactivité des réacteurs nucléaires peuvent donc comporter, soit en totalité, soit en partie, des crayons absorbants constitués par un tube de hafnium renfermant éventuellement des pastilles d'un matériau absorbant tel que le  $B_4C$ . Dans certains cas, on a proposé de réaliser seulement une partie des crayons absorbants, par exemple la partie inférieure, en hafnium.

Les grappes grises comportent à la fois des crayons absorbants et des crayons inertes constitués par un simple tube en matériau pas ou peu absorbant fermé à ses extrémités par des bouchons. Les crayons absorbants peuvent être constitués par des tubes en matériau absorbant tel que le hafnium.

Le hafnium présente l'avantage sur d'autres matériaux absorbants de présenter une excellente compatibilité avec le fluide primaire, un gonflement faible sous irradiation et une bonne tenue au fluage à la température de fonctionnement d'un réacteur nucléaire à eau sous pression. Il peut donc être utilisé sans gainage.

Toutefois, le hafnium ne peut guère être soudé qu'à des alliages de la même famille (titane, zirconium, hafnium) ou présentant avec le hafnium des solutions solides continues.

Si l'on utilise le hafnium pour le bouchon supérieur, la tenue mécanique de la grappe de réglage n'est pas optimale car le hafnium ne présente pas des caractéristiques mécaniques assez élevées vis-à-vis des sollicitations perçues par la grappe en fonctionnement. En outre, l'utilisation d'un bouchon en hafnium dans la partie supérieure du crayon absorbant n'est pas vraiment justifiée pour des questions d'absorption neutronique, dans la mesure où le bouchon supérieur n'est exposé qu'à un flux neutronique très faible puisqu'il reste au-dessus de la partie supérieure du cœur. Enfin la mise en œuvre de hafnium pour le bouchon supérieur s'accompagne d'une augmentation de la masse de la grappe, ce qui peut être une contrainte forte en service. L'utilisation d'alliage de zirconium pour le bouchon supérieur serait compatible avec les impératifs de masse sans nuire au pouvoir absorbant. Cependant les propriétés mécaniques de ces alliages sont également insuffisantes. En revanche celles des alliages de titane sont parfaitement compatibles avec les performances requises.

En ce qui concerne le bouchon inférieur, l'utilisation de hafnium n'est pas exclue pour des raisons de tenue mécaniques car les propriétés de ce matériau sont compatibles avec les sollicitations mécaniques appliquées sur ce composant. Dans cette zone à fort flux neutronique, il n'est pas inutile de disposer d'une potentialité d'absorption neutronique. Enfin le volume de ce bouchon inférieur restant faible, l'augmentation de masse induite reste limitée et compatible avec les exigences sur la masse des grappes de commande. Le bouchon inférieur peut donc être en hafnium, voire en alliage de zirconium, la compatibilité avec les exigences fonctionnelles restant acquise.

Le but de l'invention est donc de proposer une grappe de commande pour un réacteur nucléaire à eau pressurisée, constituée d'un faisceau de crayons absorbant les neutrons, comportant chacun un tube métallique appelé tube de gainage, fermé, à son extrémité supérieure, par un bouchon supérieur et, à son extrémité inférieure, par un bouchon inférieur et un support, ou araignée, de forme rayonnante sur lequel les crayons absorbants

sont fixés par l'intermédiaire de leurs bouchons supérieurs, caractérisée par le fait que les tubes de gainage d'une partie au moins des crayons absorbants sont des tubes en hafnium sans soudure, les bouchons supérieurs des crayons absorbants ayant un tube de gainage en hafnium sont en alliage à base de titane et sont soudés sur la partie d'extrémité supérieure du tube de gainage en hafnium du crayon absorbant, et les bouchons inférieurs sont en hafnium massif et sont soudés sur la partie d'extrémité inférieure du tube de gainage en hafnium du crayon absorbant.

De préférence :

- les bouchons supérieurs des crayons absorbants ayant un tube en hafnium sont en un alliage de titane TA6V ou TA3V2.5 ;

- la protection contre l'usure des crayons est réalisée au défilé en atmosphère oxydante sur les tubes de gainage soudés au bouchon inférieur ;

- la protection contre l'usure des bouchons supérieurs en alliage de titane est obtenue par un traitement en four statique en atmosphère oxydante dans des conditions garantissant le maintien des caractéristiques de l'alliage ;

- les soudures de l'un au moins des bouchons supérieur et inférieur sont réalisées par l'un au moins des procédés suivants : soudage par friction, soudage par résistance, soudage TIG ; et

- le hafnium utilisé pour la fabrication des tubes de gainage et des bouchons inférieurs contient plus de 300 ppm d'oxygène.

L'invention est également relative à un crayon absorbant d'une grappe de réglage d'un réacteur nucléaire à eau pressurisée, caractérisé par le fait qu'il comporte un tube de gainage en hafnium, un bouchon supérieur en alliage de titane soudé sur une partie d'extrémité supérieure du tube de gainage en hafnium et un bouchon inférieur en hafnium massif soudé sur une partie d'extrémité inférieure du tube de gainage en hafnium.

Enfin, l'invention est également relative à une grappe de réglage d'un réacteur nucléaire à eau pressurisée, comportant un faisceau de crayons et un support de forme rayonnante, appelé araignée, sur laquelle les crayons absorbants sont fixés par l'intermédiaire de leurs bouchons supérieurs, caractérisée par le fait que l'araignée est en alliage à base de titane.

De préférence, une partie au moins des crayons absorbants de la grappe comprend un tube en hafnium et un bouchon supérieur en alliage de titane soudé sur la partie d'extrémité supérieure du tube en hafnium.

Les tubes en hafnium ou barres creuses sont élaborées selon un procédé connu par filage sur aiguille, de billettes percées, puis étirage à chaud sur mandrin déformable, le mandrin étant évacué en dernière opération par étirage à froid jusqu'à rupture. L'avantage de ce procédé de mise en forme à chaud est qu'il permet de mettre en œuvre un métal beaucoup plus chargé en oxygène que s'il devait comporter des opération de mise en forme à froid.

On considère généralement qu'au delà de 300 ppm d'oxygène, le hafnium ne peut plus guère être laminé à froid. Ce procédé permet d'utiliser des billettes contenant plus de 300 ppm et même plus de 700 ppm d'oxygène, telles qu'obtenues après la première fusion par bombardement d'électrons dans la gamme classique d'élaboration. L'élévation de la teneur en oxygène permet d'augmenter les caractéristiques mécaniques du métal, ce qui réduit considérablement la sensibilité aux défauts de surface et de fabrication (marques de coups, non-rectitude, ...).

Les bouchons en titane zirconium ou hafnium sont obtenus par usinage de barres pleines de diamètre adapté. Cette conception permet de satisfaire les exigences neutroniques, mécaniques et pondérales.

Cependant, les mouvements de grappe tant longitudinaux qu'orbitaux risquent d'induire des usures au niveau des guides de grappe (guidage continu et cartes de guidage) et de l'assemblage combustible (usure sur ogive). Il est en effet connu que ces matériaux (titane, zirconium et hafnium) ne résistent pas bien à l'usure. Un moyen connu de protéger ces matériaux contre l'usure est de réaliser un traitement d'oxydation à haute température en atmosphère oxydante. Un tel traitement conduit à réaliser une couche de diffusion d'oxygène qui assure la protection contre l'usure et une couche d'oxyde dont on ne peut guère empêcher la formation du fait de la très basse pression d'équilibre en atmosphère oxydante de l'oxyde. La profondeur de diffusion d'oxygène requise pour assurer la tenue à l'usure est d'une vingtaine de micromètres. La profondeur minimale visée pour cette opération est donc de 35 à 50 µm.

La mise en œuvre d'un procédé d'oxydation en four de barreaux de 3.5 à 4.6 m nécessiterait de disposer d'un four de taille suffisante capable de travailler en atmosphère oxydante à 800-1000°C. L'invention concerne donc aussi une mise en œuvre du traitement d'oxydation au défilé à une température plus élevée mais pendant une durée plus courte, ce qui permet d'assurer une diffusion de l'oxygène à une profondeur suffisante pour assurer la tenue à l'usure, de maintenir la constance de la température - gage de l'homogénéité de la barre oxydée, sans introduire de défauts de rectitude ou d'inhomogénéités mécaniques. Une diffusion d'oxygène sur ~50 µm peut être obtenue par chauffage par induction à 1300-1700°C, dans une atmosphère oxydante constituée d'argon et d'oxygène, à une vitesse de 50-250 mm/mn au défilé. Le chauffage à une température supérieure risque d'induire des changements de phase dans le métal (1725-1775°C) ou dans l'oxyde (~1700°C). L'oxydation au défilé est réalisée sur les crayons absorbants soudés à leur bouchon inférieur.

En outre, le traitement est mené sur des tubes de gainage soudés sur leur bouchon inférieur, ce qui permet d'assurer la continuité de la protection contre l'usure dans la zone du bouchon inférieur en forme d'ogive. Cependant, il n'est pas souhaitable de traiter des crayons terminés (avec bouchon supérieur soudé). En effet, la présence, pour certains crayons, de cale, colonne de pastilles B<sub>4</sub>C et dispositif de maintien perturbe le chauffage, restreint le choix des cales et dispositifs de maintien (les matériaux qui risquent de conduire à des eutectiques fondus à la température de traitement doivent être exclus). En outre le changement de conditions de chauffage au niveau de la liaison hafnium-titan est délicat à maîtriser sans risquer un échauffement excessif du titane, échauffement qui serait préjudiciable au maintien de ses caractéristiques mécaniques.

Le traitement au défilé permet aussi de ne pas oxyder la zone qui sera soudée sur le bouchon supérieur, évitant ainsi de polluer la soudure.

La protection contre l'usure des bouchons supérieurs des crayons est réalisée par un traitement en four statique en atmosphère oxydante dans des conditions garantissant l'obtention des caractéristiques de l'alliage. Le traitement en four statique est réalisé généralement à une température

comprise entre 550°C et 850°C, pendant une durée de 2 heures à 12 heures. Par exemple, on peut réaliser un traitement de 4h à 730°C.

Enfin, l'invention est également relative à une grappe de réglage dont l'araignée est en alliage à base de titane. Cette mise en œuvre permet de bénéficier des meilleures caractéristiques mécaniques de ces alliages ainsi que de leur moindre densité. Ainsi la conception de la grappe devient-elle plus confortable puisqu'une partie de la masse de l'araignée peut être affectée aux crayons absorbants.

L'araignée de support des crayons absorbants de la grappe peut être réalisée sous une forme et avec des dimensions identiques à celles des araignées de support de crayons absorbants des grappes de réglage selon l'art antérieur connu. Toutefois, dans certains cas, en fonction de la forme et de la dimension du bouchon supérieur en alliage de titane, il est possible d'adapter la forme et les dimensions des parties de l'araignée assurant la fixation des crayons absorbants.

Au lieu d'une araignée de support des crayons absorbants en acier, la mise en œuvre d'une araignée réalisée en alliage à base de titane permet de bénéficier des caractéristiques mécaniques d'un niveau supérieur à celles de l'acier. La fiabilité et la durée de vie de l'araignée peuvent donc être augmentées du fait de ces caractéristiques mécaniques améliorées. Il est également possible de diminuer légèrement les dimensions transversales de l'araignée de support des grappes de réglage, lorsque cette araignée est réalisée en alliage à base de titane à hautes caractéristiques mécaniques. On diminue ainsi la perte de charge lors de la chute de la grappe de réglage dans le cœur du réacteur nucléaire et on diminue le temps de chute.

L'araignée peut être réalisée par découpage d'une pièce en alliage de titane dont la santé métallurgique a été contrôlée. On diminue ainsi le risque de défaut et on diminue le nombre de liaisons par soudage ou brasage des éléments constitutifs de l'araignée. La découpe peut être réalisée par usinage mécanique, chimique ou électrochimique, découpe au fil ou au jet d'eau.

Les alliages de titane tels qu'envisagés plus haut sont insensibles à la corrosion dans la cuve du réacteur nucléaire. On fournira donc moins de produits activables dans le circuit primaire.

Enfin, la santé métallurgique du matériau et la simplicité de fabrication  
5 de l'araignée en alliage à base de titane permettent de réduire les coûts de fabrication et les anomalies de fonctionnement et d'augmenter la productivité de fabrication des grappes de réglage.

Une araignée en alliage à base de titane peut être utilisée pour toute grappe de réglage, comportant ou non des crayons ayant des tubes en hafnium.  
10

On a réalisé des essais de tenue mécanique des grappes de réglage suivant l'invention dans des conditions reproduisant les conditions dans le réacteur nucléaire en fonctionnement.

On a effectué également des essais d'usure sur les différentes parties  
15 des crayons absorbants pour valider les traitements anti-usure par oxydation.

Les essais effectués visent à vérifier la tenue des bouchons des crayons absorbants et en particulier des bouchons supérieurs, des tubes en hafnium des crayons absorbants et des parties de liaison des bouchons supérieurs avec l'araignée de la grappe de réglage. On a effectué des essais  
20 d'endurance permettant de montrer que les grappes de réglage suivant l'invention peuvent fonctionner dans le réacteur nucléaire, sans destruction prématurée, pendant des durées de fonctionnement envisagées pour les réacteurs nucléaires de la technique actuelle.

Afin de bien faire comprendre l'invention, on va décrire, à titre  
25 d'exemple, en se référant aux figures jointes en annexe, une grappe de réglage et un crayon absorbant suivant l'invention.

La figure 1 est une vue en perspective d'une grappe de réglage pour réacteur nucléaire à eau sous pression, insérée dans un assemblage combustible.  
30

La figure 2 est une vue en coupe axiale d'un crayon absorbant suivant l'invention.

La figure 3 est une vue en coupe partielle de la partie supérieure d'un crayon absorbant fixé sur une ailette d'araignée.

Sur la figure 1, on a représenté une grappe de réglage d'un réacteur nucléaire à eau sous pression désignée de manière générale par le repère 5 1.

La grappe de réglage 1 comporte un faisceau de crayons absorbants 2 et une araignée 3 assurant le support et le maintien des crayons 2 sous la forme d'un faisceau dans lequel les crayons sont parallèles entre eux et positionnés latéralement suivant le même réseau que celui des tubes-guides 10 de l'assemblage de combustible.

L'araignée 3 comporte un pommeau cylindrique 3a cannelé intérieurement permettant de raccorder la grappe de réglage à une tige de commande pour son déplacement dans la direction verticale dans le cœur et des ailettes 3b solidaires du pommeau 3a sur chacune desquelles sont fixés des 15 crayons absorbants 2 par leur bouchon supérieur

Une partie au moins des crayons 2 de la grappe de réglage 1 comporte un corps tubulaire constitué par un tube en hafnium.

Dans le cas où la grappe 1 est une grappe noire, les tubes de tous les crayons absorbants 2 de la grappe peuvent être en hafnium.

20 Dans le cas d'une grappe grise, seule une partie des crayons 2 comporte un tube en hafnium, les tubes des autres crayons étant en acier ou tout autre matériau non absorbant satisfaisant les exigences de fonctionnement en réacteur nucléaire.

25 Sur la figure 2, on a représenté un crayon absorbant suivant l'invention d'une grappe noire qui peut être utilisée par exemple dans un réacteur nucléaire refroidi par de l'eau sous pression d'une puissance de 1300 MWe.

Le crayon 2 représenté sur la figure 2 comporte un tube en hafnium 4 renfermant un empilement de pastilles 5 en carbure de bore B<sub>4</sub>C fortement absorbantes et fermé, à son extrémité supérieure, par un bouchon 6 en alliage de titane et, à son extrémité inférieure, par un bouchon 7 en forme d'ogive en hafnium ou en alliage de zirconium. Une diffusion d'oxygène 11 sur le tube soudé sur le bouchon inférieur a été réalisée et assure une pro-

tection contre l'usure. Le bouchon supérieur pourra être protégé ou non par une diffusion d'oxygène 12.

Le hafnium utilisé peut contenir plus de 300 ppm d'oxygène.

L'empilement de pastilles 5 en carbure de bore B<sub>4</sub>C est maintenu à l'intérieur du tube 4 en hafnium par un ressort ou tout autre dispositif bloquant 8, l'extrémité inférieure de la colonne de pastilles étant en appui, par l'intermédiaire d'une entretoise 7a, sur le bouchon inférieur 7. Le bouchon inférieur 7 du crayon 2 en hafnium est rendu solidaire par un cordon de soudure 7b de l'extrémité inférieure du tube 4 en hafnium, le soudage pouvant être mis en œuvre, par exemple, par un faisceau laser, faisceau d'électrons, TIG, friction ou résistance La soudure obtenue est parfaitement saine et parfaitement résistante.

Selon l'invention, le bouchon supérieur 6 du crayon 2 est en titane ou alliage de titane et par exemple en alliage Ti-6Al-4V (TA6V) ou en alliage TA3V2,5 et sa fixation rigide et étanche sur l'extrémité supérieure du tube 4 est réalisée par une soudure 9. Des essais ont montré que la soudure entre le bouchon en alliage de titane 6 et le tube en hafnium 4 peut être réalisée, par exemple, par un faisceau laser, faisceau d'électrons, TIG, friction ou résistance La soudure obtenue est parfaitement saine et parfaitement résistante. Dans le cas de soudures TIG ou par friction, la zone de rupture d'une éprouvette soudée hafnium/titane ou hafnium/Zircaloy se situe en dehors de la zone soudée. La rupture se produit sous une charge correspondant à la charge de rupture du matériau massif.

Comme il est visible sur la figure 3, le bouchon supérieur 6 en alliage de titane qui assure la fixation du crayon absorbant 2 sur une ailette 3b de l'araignée 3 de la grappe de réglage peut présenter une forme et des dimensions identiques à celles d'un bouchon supérieur d'un crayon absorbant suivant l'art antérieur. La partie supérieure du bouchon 6 présentant un filetage pour la fixation du crayon absorbant sur le bras 3b de l'araignée 3 peut être, soit vissée dans le bras de l'araignée, soit placée dans une disposition transversante et maintenue par l'intermédiaire d'un écrou 10 supérieur qui assurera aussi le guidage de la grappe lors de sa remontée.

Comme il est visible sur la figure 3, le bouchon d'extrémité supérieur du crayon absorbant 6 présente une partie à faible section 3c qui lui permet d'assurer au crayon la flexibilité requise.

En outre, on a pu vérifier que la soudure 9 entre le bouchon en alliage de titane 6 et l'extrémité supérieure du tube en hafnium 4 (figure 2) résiste aux sollicitations mécaniques, thermiques et chimiques dans l'ambiance du réacteur nucléaire, aucune corrosion supplémentaire n'étant observée au niveau de la soudure de raccordement 9 du bouchon supérieur 6.

En outre, le bouchon 6, pendant l'utilisation de la grappe de réglage dans un cœur de réacteur nucléaire, se trouve au-dessus de la surface supérieure du cœur, dans une zone qui n'est pas soumise au flux neutronique intense régnant dans le cœur du réacteur nucléaire. Le bouchon supérieur en alliage de titane n'est donc pas soumis à des conditions provoquant un gonflement sous irradiation ou une perte des caractéristiques mécaniques. Le bouchon supérieur présentant des caractéristiques mécaniques élevées garde donc ses caractéristiques pendant de longues durées de service à l'intérieur du cœur d'un réacteur nucléaire.

En outre, le bouchon supérieur des crayons absorbants en hafnium de la grappe de réglage suivant l'invention qui est en alliage de titane à hautes caractéristiques mécaniques peut être réalisé de manière à présenter une longueur la plus grande possible compatible avec l'utilisation de la grappe de réglage. On peut ainsi diminuer la longueur du tube de hafnium, ce qui permet de diminuer le coût et d'adapter la masse des crayons absorbants.

L'invention s'applique à toute grappe de réglage d'un réacteur nucléaire refroidi par de l'eau légère comportant des crayons absorbants comportant un tube en hafnium.

REVENDICATIONS

1.- Grappe de réglage d'un réacteur nucléaire à eau pressurisée constituée d'un faisceau de crayons (2) absorbant les neutrons, comportant chacun un tube métallique (4), appelé tube de gainage, fermé, à son extrémité supérieure, par un bouchon supérieur (6) et, à son extrémité inférieure, par un bouchon inférieur (7) et un support (3), ou araignée, de forme rayonnante sur lequel les crayons absorbants (2) sont fixés par l'intermédiaire de leurs bouchons supérieurs (6), caractérisée par le fait que les tubes de gainage (4) d'une partie au moins des crayons absorbants sont des tubes en hafnium sans soudure, les bouchons supérieurs (6) des crayons absorbants (2) ayant un tube de gainage en hafnium sont en alliage à base de titane et sont soudés sur la partie d'extrémité supérieure du tube de gainage (4) en hafnium du crayon absorbant (2), et les bouchons inférieurs (7) sont en hafnium massif et sont soudés sur la partie d'extrémité inférieure du tube de gainage (4) en hafnium du crayon absorbant (2).

2.- Grappe de réglage suivant la revendication 1, caractérisée par le fait que les bouchons supérieurs (6) des crayons absorbants (2) ayant un tube (4) en hafnium sont en un alliage de titane TA6V ou TA3V2.5.

3.- Grappe de réglage suivant la revendication 1, caractérisée par le fait qu'une protection contre l'usure des crayons est réalisée par oxydation à une température de 1300°C à 1700°C en atmosphère oxydante, au défilé à une vitesse de 50-250 mm/mn sur les tubes de gainage (4) soudés au bouchon inférieur (7).

4.- Grappe de réglage suivant la revendication 1, caractérisée par le fait qu'une protection contre l'usure des bouchons supérieurs (6) en alliage de titane est obtenue par un traitement en four statique en atmosphère oxydante dans des conditions garantissant le maintien des caractéristiques de l'alliage de titane.

5.- Grappe de réglage suivant la revendication 4, caractérisée par le fait que le traitement en four statique est réalisé à une température comprise entre 550°C et 850°C, pendant une durée de 2 heures à 12 heures.

6.- Grappe de réglage suivant la revendication 1, caractérisée par le fait que la soudure de l'un au moins des bouchons supérieur (6) et inférieur

(7) est réalisée par l'un au moins des procédés suivants : soudage par friction, soudage par résistance, soudage TIG.

5        7.- Grappe de réglage suivant la revendication 1, caractérisée par le fait que le hafnium utilisé pour la fabrication des tubes de gainage (4) et des bouchons inférieurs (7) contient plus de 300 ppm d'oxygène.

10      8.- Crayon absorbant d'une grappe de réglage d'un réacteur nucléaire à eau pressurisée, caractérisé par le fait qu'il comporte un tube de gainage (4) en hafnium, un bouchon supérieur (6) en alliage de titane soudé sur une partie d'extrémité supérieure du tube de gainage (4) en hafnium et un bouchon inférieur (7) en hafnium massif soudé sur une partie d'extrémité inférieure du tube de gainage (4) en hafnium.

15      9.- Grappe de réglage d'un réacteur nucléaire à eau pressurisée, comportant un faisceau de crayons (2) et un support de forme rayonnante appelé araignée (3) sur laquelle les crayons absorbants (2) sont fixés par l'intermédiaire de leurs bouchon supérieurs (6), caractérisée par le fait que l'araignée (3) est en alliage à base de titane.

20      10.- Grappe de réglage suivant la revendication 9, caractérisée par le fait qu'une partie au moins des crayons absorbants (2) de la grappe (1) comprend un tube (4) en hafnium et un bouchon supérieur (6) en alliage de titane soudé sur la partie d'extrémité supérieure du tube (4) en hafnium.

11.- Procédé de protection contre l'usure d'un crayon absorbant suivant la revendication 8, caractérisé par le fait qu'on réalise une oxydation du tube de gainage (4) du crayon absorbant (2), à haute température, en atmosphère oxydante.

25      12.- Procédé de protection selon la revendication 11, caractérisé par le fait qu'on réalise l'oxydation du tube de gainage (4) soudé au bouchon inférieur (7), au défilé, à une température de 1300°C à 1700°C et à une vitesse de 50 à 250 mm/mn.

1/2

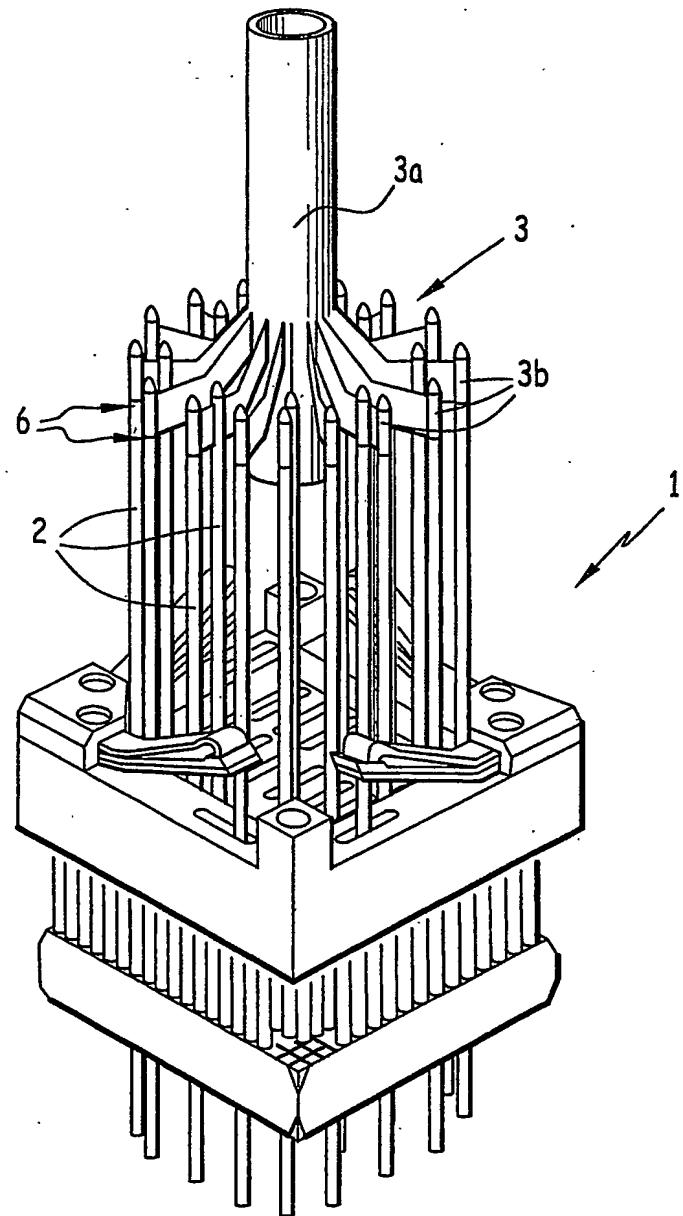
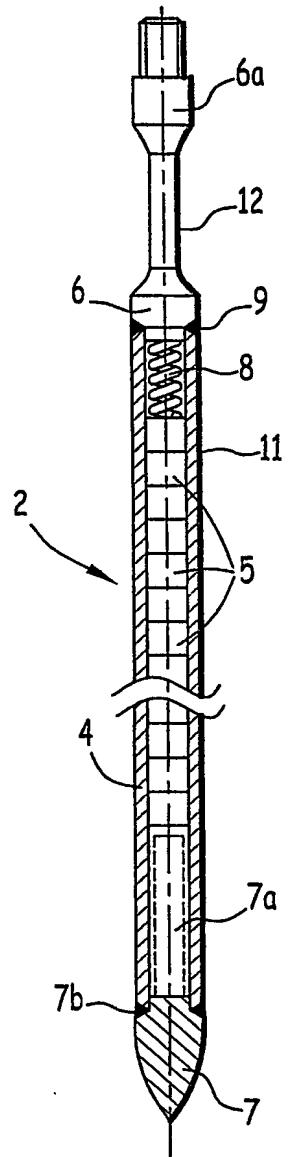
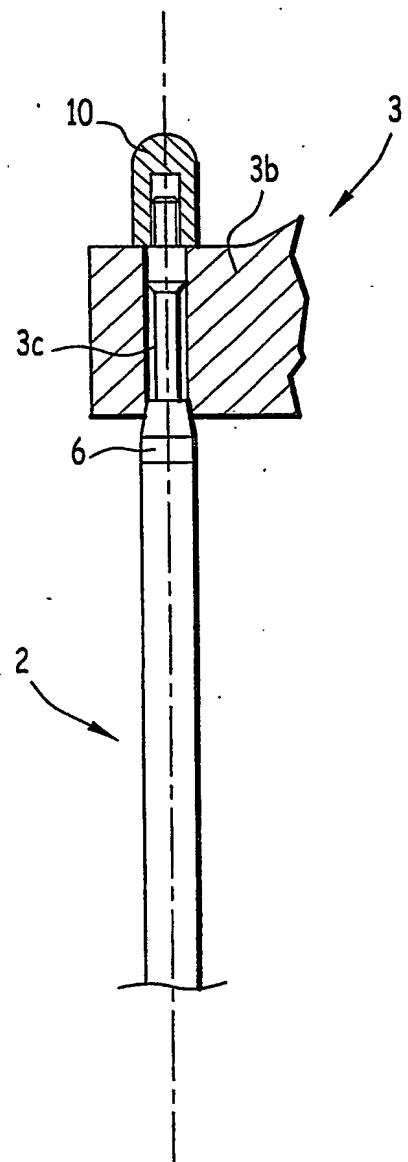


FIG.1

2/2

FIG.2FIG.3

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No.

PCT/ [REDACTED] 3/01710

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC 7 G21C7/117 G21C21/18 G21C7/24

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 G21C

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

WPI Data, PAJ, EPO-Internal

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category °	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	EP 0 353 170 A (CEZUS CO EUROP ZIRCONIUM) 31 January 1990 (1990-01-31) the whole document ---	1,2,6-10
A	FR 2 728 097 A (FRAMATOME SA) 14 June 1996 (1996-06-14) the whole document ---	1,2,6-10
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 014, no. 098 (P-1011), 22 February 1990 (1990-02-22) & JP 01 304392 A (TOSHIBA CORP), 7 December 1989 (1989-12-07) abstract ---	1,8 -/-

Further documents are listed in the continuation of box C.

Patent family members are listed in annex.

### ° Special categories of cited documents :

- \*A\* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- \*E\* earlier document but published on or after the international filing date
- \*L\* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- \*O\* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- \*P\* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- \*T\* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- \*X\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- \*Y\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- \*&\* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

9 October 2003

Date of mailing of the international search report

22/10/2003

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Deroubaix, P

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No.

PCT/[REDACTED] 3/01710

## C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	<p>DATABASE WPI          Section Ch, Week 198746          Derwent Publications Ltd., London, GB;          Class K06, AN 1987-325716          XP002228833          &amp; JP 62 049950 B (NIPPON GENSHIRYOKU JIGYO KK), 22 October 1987 (1987-10-22)          abstract</p> <p>---</p>	1,7,8
A	<p>WO 97 48104 A (FRAMATOME SA ;COGEMA (FR); HERTZ DOMINIQUE (FR); ROMARY JEAN MICHE)          18 December 1997 (1997-12-18)          the whole document</p> <p>---</p>	1-12...
A	<p>EP 0 421 868 A (FRAMATOME SA ;COGEMA (FR))          10 April 1991 (1991-04-10)          claims 1-8</p> <p>-----</p>	3-5,11, 12

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

Information on patent family members

International Application No

PCT/03/01710

Patent document cited in search report		Publication date		Patent family member(s)		Publication date
EP 0353170	A	31-01-1990		FR 2634938 A1 DE 68909711 D1 DE 68909711 T2 EP 0353170 A1 ES 2044193 T3 JP 2075996 A JP 6095151 B KR 9411430 B1 US 5118468 A		02-02-1990 11-11-1993 03-02-1994 31-01-1990 01-01-1994 15-03-1990 24-11-1994 15-12-1994 02-06-1992
FR 2728097	A	14-06-1996		FR 2728097 A1 BE 1010993 A3 DE 19546597 A1 US 5742655 A		14-06-1996 02-03-1999 20-06-1996 21-04-1998
JP 01304392	A	07-12-1989		NONE		
JP 62049950	B	22-10-1987		JP 1443039 C JP 56090292 A		08-06-1988 22-07-1981
WO 9748104	A	18-12-1997		FR 2749968 A1 CN 1197533 A DE 69706506 D1 DE 69706506 T2 EP 0845146 A1 ES 2163779 T3 WO 9748104 A1 JP 11510910 T		19-12-1997 28-10-1998 11-10-2001 26-09-2002 03-06-1998 01-02-2002 18-12-1997 21-09-1999
EP 0421868	A	10-04-1991		FR 2652591 A1 DE 69020483 D1 DE 69020483 T2 EP 0421868 A1 ES 2074145 T3 US 5328524 A		05-04-1991 03-08-1995 09-11-1995 10-04-1991 01-09-1995 12-07-1994

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale No.:

PCT/03/01710

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE  
CIB 7 G21C7/117 G21C21/18 G21C7/24

Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB

## B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)

CIB 7 G21C

Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche

Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si réalisable, termes de recherche utilisés)

WPI Data, PAJ, EPO-Internal

## C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	EP 0 353 170 A (CEZUS CO EUROP ZIRCONIUM) 31 janvier 1990 (1990-01-31) le document en entier ---	1,2,6-10
A	FR 2 728 097 A (FRAMATOME SA) 14 juin 1996 (1996-06-14) le document en entier ---	1,2,6-10
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 014, no. 098 (P-1011), 22 février 1990 (1990-02-22) & JP 01 304392 A (TOSHIBA CORP), 7 décembre 1989 (1989-12-07) abrégé ---	1,8 -/-

Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents

Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

### \* Catégories spéciales de documents cités:

- "A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent
- "E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date
- "L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)
- "O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens
- "P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée

- "T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention
- "X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément
- "Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier
- "&" document qui fait partie de la même famille de brevets

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée

9 octobre 2003

Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale

22/10/2003

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale  
Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Fonctionnaire autorisé

Deroubaix, P

## RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale No

PCT/EP/3/01710

## C.(suite) DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	DATABASE WPI Section Ch, Week 198746 Derwent Publications Ltd., London, GB; Class K06, AN 1987-325716 XP002228833 & JP 62 049950 B (NIPPON GENSHIRYOKU JIGYO KK), 22 octobre 1987 (1987-10-22) abrégé ---	1,7,8
A	WO 97 48104 A (FRAMATOME SA ; COGEMA (FR); HERTZ DOMINIQUE (FR); ROMARY JEAN MICHE) 18 décembre 1997 (1997-12-18) 1e document en entier ---	1-12
A	EP 0 421 868 A (FRAMATOME SA ; COGEMA (FR)) 10 avril 1991 (1991-04-10) revendications 1-8 ----	3-5,11, 12

**RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE**

Renseignements relatifs aux

familles de brevets

Demande Internationale N°:

PCT/03/01710

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)		Date de publication
EP 0353170	A	31-01-1990	FR 2634938 A1 DE 68909711 D1 DE 68909711 T2 EP 0353170 A1 ES 2044193 T3 JP 2075996 A JP 6095151 B KR 9411430 B1 US 5118468 A		02-02-1990 11-11-1993 03-02-1994 31-01-1990 01-01-1994 15-03-1990 24-11-1994 15-12-1994 02-06-1992
FR 2728097	A	14-06-1996	FR 2728097 A1 BE 1010993 A3 DE 19546597 A1 US 5742655 A		14-06-1996 02-03-1999 20-06-1996 21-04-1998
JP 01304392	A	07-12-1989	AUCUN		
JP 62049950	B	22-10-1987	JP 1443039 C JP 56090292 A		08-06-1988 22-07-1981
WO 9748104	A	18-12-1997	FR 2749968 A1 CN 1197533 A DE 69706506 D1 DE 69706506 T2 EP 0845146 A1 ES 2163779 T3 WO 9748104 A1 JP 11510910 T		19-12-1997 28-10-1998 11-10-2001 26-09-2002 03-06-1998 01-02-2002 18-12-1997 21-09-1999
EP 0421868	A	10-04-1991	FR 2652591 A1 DE 69020483 D1 DE 69020483 T2 EP 0421868 A1 ES 2074145 T3 US 5328524 A		05-04-1991 03-08-1995 09-11-1995 10-04-1991 01-09-1995 12-07-1994